

# 100% Reutilización de agua para fabricar 100% papel recuperado

*El Grupo de Investigación de Celulosa y Papel del departamento de Ingeniería Química de la Universidad Complutense de Madrid, en colaboración con Holmen Paper, ha trabajado durante estos últimos años en la optimización de la gestión del agua en su fábrica de Madrid. Además de minimizar su consumo, también se han buscado nuevas fuentes de agua a través de dos líneas de trabajo: reutilización del efluente de la propia planta mediante tratamientos avanzados y utilización de agua regenerada procedente de una depuradora municipal como agua fresca. A continuación se describen los trabajos realizados y las interesantes conclusiones de esta investigación.*

A. Blanco, R. Ordóñez y D. Hermosilla, Grupo de Celulosa y Papel,  
Dpto. de Ingeniería Química. Universidad Complutense de Madrid  
I. San Pío y L. Rodríguez, Holmen Paper Madrid

La industria española es líder en reciclaje de papel con una utilización de papel recuperado como materia prima de más del 84% (CEPI, 2008) y, específicamente, en la Comunidad de Madrid del 100%. El gran crecimiento y desarrollo industrial del sector papelero en esta Comunidad (12% de la producción nacional con una producción superior a 600.000 t/año) justifica la necesidad de desarrollar procesos sostenibles que cubran las demandas de la sociedad, que optimicen la economía del proceso y que incorporen tecnologías cada vez más respetuosas con el medio ambiente.

La nueva máquina de papel de Holmen Paper Madrid es una de las más modernas y eficaces de Europa y un ejemplo de cómo adaptar las mejores tecnologías disponibles para disminuir el consumo de agua y energía y minimizar el impacto ambiental de la fábrica.

El agua es un elemento indispensable en la fabricación de papel. Su principal función es la de medio de dispersión y transporte de las materias primas fibrosas y de los aditivos a lo largo de todo el proceso de producción. El agua también se utiliza como fluido de intercambio de calor, para la producción de vapor, para el sellado de los sistemas de vacío, como agente lubricante, para los rociadores y toberas, para limpieza, etc. La cantidad de agua necesaria para el proceso depende de las materias primas empleadas, de la tecnología utilizada y del producto final obtenido. En el caso de Holmen Paper Madrid el consumo de agua se encuentra por debajo de los consumos de referencia del BREF para papeles prensa (10-20 m<sup>3</sup>/t) (IPPC, 2000), lo que supone un reto a la hora de eliminar contaminantes de las aguas de proceso y de

evitar que éstos se acumulen en los circuitos de agua.

Para minimizar el consumo de agua, el Grupo de Investigación de Celulosa y Papel del departamento de Ingeniería Química de la Universidad Complutense de Madrid ha trabajado durante los últimos años en estrecha colaboración con el personal de la planta con el objetivo de:

- Realizar una óptima gestión del agua.
- Cierre de los circuitos de agua de usos técnicos, como el agua de calderas y de sellado.
- Utilizar el agua en sistemas en cascada en función de los requerimientos calidad-uso, asegurando una buena separación entre los distintos circuitos: lazo 1, lazo 2 y circuito de máquina.
- Optimizar todas las etapas de clarificación de las aguas de proceso. En la flotación por aire disuelto se ha trabajado, por ejemplo, en la desestabilización de la materia disuelta y coloidal mediante tratamientos avanzados de coagulación-floculación, para así eliminar junto a la materia en suspensión la mayor parte posible de materia disuelta y coloidal o basura aniónica.



Figura 1. Mesa de gravedad

ca. Además las aguas blancas, procedentes del filtrado claro del circuito de máquina, se someten a un proceso de ultrafiltración para eliminar también materia coloidal (polisacáridos, extractivos, sustancias lignocelulósicas, etc.), con el objetivo de reutilizar las aguas en las regaderas de baja presión y en la preparación de determinados químicos. La metodología FBRM desarrollada por este grupo de investigación, para monitorizar procesos como la floculación o la coagulación, ha facilitado la optimización de las dosis de floculantes y coagulantes, lo que deriva en la obtención de mejores reducciones de turbidez, demanda catiónica o DQO en las aguas y evita la sobredosificación de estos productos (Blanco et al. 2002ab), lo que deriva en ventajas ambientales y económicas.

- Se ha optimizado el desgote de los lodos producidos en el proceso de destintado, favoreciendo que la materia disuelta y coloidal desestabilizada se quede en los mismos y salga del proceso como un producto sólido, ya que estos lodos, con una sequedad del 70%, se destinan a otros usos como la industria cerámica. La metodología FBRM permitió la monitorización de la floculación y coagulación de estos lodos optimizando las dosis de floculantes y disminuyendo la presencia posterior de contaminantes en las aguas del proceso de fabricación (Galán, 2008), ya que las aguas filtradas en las mesas de gravedad se reutilizan posteriormente (Figura 1).

Debe tenerse en cuenta, no obstante, que el cierre completo de circuitos de agua no es la solución óptima, si no que se debe buscar el equilibrio entre la calidad del producto, el buen funcionamiento de las máquinas y la calidad



del agua de proceso (Bourgogne y Laine 2001; Negro et al. 1995). El nivel de acumulación de contaminantes en las aguas de cada industria está directamente relacionado con el grado de cierre del sistema. Además, es la concentración de éstos la que limita, en último caso, el grado de cierre.

Teniendo en cuenta que en la actualidad la planta consume agua potable del Canal de Isabel II y los periodos de sequía que amenazan a la Comunidad de Madrid, este consumo mínimo de agua sigue siendo muy importante, por lo que se está trabajando en la búsqueda de fuentes alternativas de agua que aseguren el buen funcionamiento de la planta, incluso en periodos de sequía en los que el uso de agua potable esté restringido. Por tanto, se han abierto dos nuevas líneas de investigación: reutilización del efluente de la planta mediante tratamientos avanzados y utilización de agua regenerada procedente de una depuradora municipal como agua fresca.

### Reutilización del efluente de la planta mediante tratamientos avanzados

Las aguas que derivan a efluente son aquellas de peor calidad y que no pueden reutilizarse internamente dentro del proceso, debiéndose someter a tratamientos más avanzados.

El efluente de la planta se somete, en la actualidad, a un tratamiento primario de clarificación por flotación, separando los lodos mediante espesamiento y desgate, y a un posterior tratamiento biológico aerobio, lo que permite su

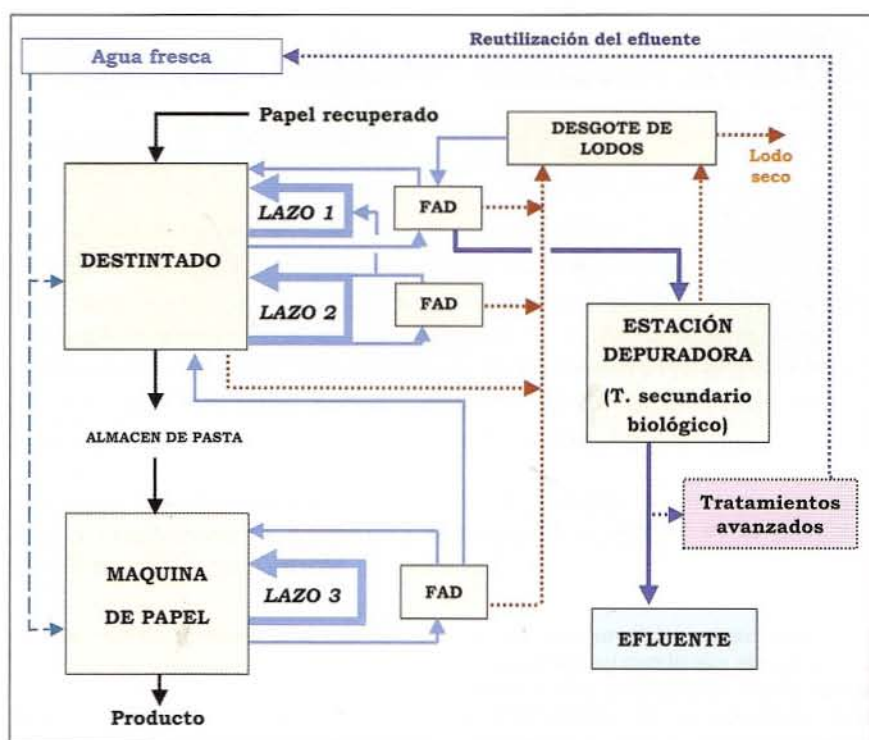


Figura 3. Ejemplo de cierre de circuitos de agua en una fábrica de papel reciclado

vertido, de acuerdo a la legislación, a una estación depuradora de aguas residuales, pero no permite su reutilización posterior en ningún proceso de la fábrica (Miranda et al. 2008).

Para la reutilización posterior de este efluente en la fábrica es necesaria la mejora del tratamiento secundario y la realización de tratamientos terciarios. Actualmente se está trabajando en la combinación de tratamiento anaerobio

con un tratamiento aerobio convencional tipo lodos activos ó bioreactor de membranas (BRM).

El tratamiento anaerobio permite la eliminación de sulfatos (Bajpai 2000), habituales en las fábricas que utilizan papel reciclado como materia prima, ya que el sulfato cálcico que se añade en la formación del papel y en las capas de estuco, aparece en las aguas una vez que el papelote se ha desintegrado; además este tratamiento permite la generación de energía (van Haandel y Lettinga 1994), debido al biogás producido por las bacterias en el proceso de eliminación de la materia orgánica, incrementando la rentabilidad del proceso.

La etapa aerobia posterior permite disminuir, al máximo biodegradable, la presencia de materia orgánica en las aguas y prepararlas para un posterior tratamiento con membranas, integrado, en el caso del BRM, y externo en el caso de lodos activos donde las aguas se someten a una ultrafiltración posterior.

Después las aguas se someten a un tratamiento de ósmosis inversa y desinfección que permite cumplir con los requerimientos más exigentes de los puntos críticos de la máquina de papel, permitiendo sustituir el agua fresca que se introduce actualmente en el proceso de fabricación. Posteriormente este agua se reutilizará hasta el máximo posible y volverá a ser sometida a este tratamiento.



Figura 2. Planta piloto de ultrafiltración



Actualmente el grupo de investigación de la Universidad Complutense de Madrid y Holmen Paper están trabajando en las diversas combinaciones de tratamiento mencionadas a escala piloto (Figura 2) y en otras posibles vías de tratamiento como la oxidación avanzada, a escala de laboratorio.

La figura 3 muestra un esquema simplificado del cierre de circuitos.

### Utilización de agua regenerada procedente de EDAR como agua fresca

Las técnicas de regeneración de agua para su utilización en el sector papelero deben ir enfocadas a la minimización de riesgos (reducción de bacterias, helmintos, protozoos y virus) (Toze 1997; Toze 2006) y a la eliminación de sales y ciertos iones, dada su capacidad para originar episodios de corrosión e incrustaciones que puedan bloquear determinados equipos e instalaciones (Abubakr et al. 1997; Curley et al. 1998; Berard 2000; Bourgogne y Laine 2001; Panchapakesan 2001). En este sentido, los procesos de membranas (microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y ósmosis inversa) están tomando ventaja como técnicas avanzadas de regeneración de los efluentes secundario/terciario de las depuradoras municipales urbanas para alcanzar un agua de elevada calidad (Wintgens et al., 2005), reconociéndose en la actualidad como sistemas multibarrera cuando varios de ellos se disponen en serie. La desinfección química o el uso de radiación ultravioleta después de la filtración con membranas, también sirve para el control de bacterias y la inactivación efectiva de virus (Lazarova et al. 1999; Clancy 2001). Por esta razón, la mayoría de las instalaciones están equipadas a su vez con técnicas avanzadas de desinfección: cloro, cloraminas, radiación ultravioleta u ozono.

Durante los últimos tres años el Grupo de Investigación de Celulosa y Papel del Departamento de Ingeniería Química y la empresa Holmen Paper han realizado diversos estudios para establecer la viabilidad técnica y económica de la reutilización de aguas regeneradas municipales y para definir el tratamiento más adecuado que garantice la minimización de los riesgos ya mencionados.

El equipo de investigación mencionado, en colaboración con el Canal de Isabel II y la propia empresa, llevó a cabo un pilotaje en la EDAR de la Cuenca Media-Alta de Arroyo Culebro para tratar su efluente y hacerlo apto para su consumo como agua fresca en la fábrica de papel (Figuras 4 y 5) (Ordóñez, 2007).



Figuras 4 y 5. Instalaciones donde se llevaron a cabo las pruebas piloto

Tras analizar qué configuraciones eran las más empleadas a nivel mundial en las plantas de regeneración, se optó por comparar, en paralelo, 3 sistemas multibarrera: microfiltración presurizada con membranas de fibra hueca, ultrafiltración sumergida con membranas en espiral y ultrafiltración sumergida con membranas de fibra hueca; seguidos, todos estos pretratamientos, de unidades de ósmosis inversa y ultravioleta idénticas en las tres líneas.

Estos trabajos revelaron que el ensuciamiento de las membranas es un aspecto clave para el buen funcionamiento de estas instalaciones (Figura 6) y especial atención se tiene que dar a los vertidos industriales que llegan a la depuradora municipal.

En base a los resultados que se obtuvieron, se demostró que los tres sistemas son aptos para producir un agua regenerada de la calidad deseada; y que la selección de la tecnología óptima para la construcción de una instalación industrial depende, fundamentalmente, de la evaluación económica de los costes asociados a cada una de las tecnologías.



Figura 6. Detalle del ensuciamiento del filtro de cartucho previo a la ósmosis inversa

### Agradecimientos

Los autores de este artículo quieren agradecer a la Unión Europea la financiación concedida a través del proyecto "Water in Industry, Fit-for-Use Sustainable Water Use in Chemical, Paper, Textile and Food Industry" (financiación 211534), al Ministerio de Ciencia e Innovación la financiación concedida a través del proyecto "Reducción del consumo de agua y de energía para la producción sostenible de papeles gráficos" y a la Comunidad de Madrid la financiación obtenida a través del proyecto "Producción limpia de papel reciclado: Hacia la sostenibilidad en la producción de papel en la Comunidad de Madrid" PROLIPAPEL-CM (S-0505/AMB/0100). Asimismo, quieren agradecer igualmente la financiación recibida de los fondos FEDER a través del IMADE (proyecto PIE 538/2008) y la recibida del CDTI (Proyecto IDI-20070608).

### Bibliografía

1. Abubakr, S.M., Hrutfiord, B.F. Reichert, T.W. y Mckean, W.T. (1997). Retention mechanism of metal cations in recycled and never-dried pulps. *Tappi Journal*, 80(2), 143-148.
2. Aquarec (2005). *Aquarec-Deliverable D13. "Water Reuse System Management Manual"*.
3. Bajpai, P. (2000). Treatment of pulp and paper mill effluents with anaerobic technology, Pira International, Surrey, UK.
4. Berard, P. (2000). Water closure can often lead to a number of problems at mills. But solutions are on hand to help papermakers overcome these obstacles. *Pulp and Paper International*, 42(4).
5. Blanco, A.; de la Fuente, E.; Negro, C.; Monte, M.C.; Tijero, J. (2002a). Focused beam reflectance measurement as a tool to measure flocculation. *Tappi Journal*, 1 (10), 14-20.
6. Blanco, A.; Fuente, E.; Negro, C.; Tijero, J. (2002b). Flocculation monitoring: focused beam reflectance measurement as a measurement tool. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 80 (4), 734-740.



7. Bourgogne, G. y Laine, J.E. (2001). A review of the effects of reduced water consumption on the wet end of the paper machine and the quality of water. *Paperi ja Puu - Paper and Timber* 83(3) 190-203.
8. CEPI (2008). CEPI 2007 Statistics Report. Bruselas (Bélgica).
9. Clancy, J.L. (2001). The microbiological landscape. Presentation, Microbial Indicators of Drinking Water Quality - Separating Fact from Fiction. AWWA Research Foundation Workshop, Toronto, Ontario.
10. Curley, J., Jones, B., Wiseman, N. y Xiao, H. (1998). Reducing the reliance on fresh water. PITA Water Removal Conference, 49-58.
11. Galán, V. (2008). Diseño de un sistema para el desgote de los lodos generados en una fábrica de papel reciclado. Proyecto Fin de Carrera. Departamento de Ingeniería Química. Universidad Complutense de Madrid. Director: Ángeles Blanco.
12. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) (2000). Reference document on best available techniques in the pulp and paper industry.
13. Lazarova, V., Savoye, P., Janex, M.L. y Blatchley, E.R. (1999). Advanced wastewater disinfection technologies: state of the art and perspectives. *Water Science and Technology*, 40 (4-5), 203-213.
14. Miranda, R.; Blanco, A.; Negro, C. (2009). Accumulation of dissolved and colloidal material in papermaking-Application to simulation. *Chemical Engineering Journal* 148, 385-393.
15. Negro, C.; Blanco, A.; Gaspar, I.; Tijero, J. (1995). El agua en la industria papelera. *Ingeniería Química*, 317, 137-145.
16. Ordóñez, R. (2007) Regeneración de agua residual municipal mediante tratamientos de membranas para su uso en la industria papelera. Proyecto de Máster en Ingeniería de los Procesos Industriales. Departamento de Ingeniería Química. Universidad Complutense de Madrid. Director: Ángeles Blanco.
17. Panchapakesan B. (2001). Optimizing white water system design. Improves runnability, lowers operating cost. *Paper Age*, February 2001.
18. Toze, S. (1997). Microbial Pathogens in wastewater. CSIRO Land and Water Technical Report 1/97.
19. Toze, S. (2006). Reuse of effluent water-benefits and risks. *Agricultural Water Management*, 80, 147-159.
20. van Haandel, A. C.; Lettinga, G. (1994). Anaerobic Sewage Treatment. A practical Guide for Regions with a Hot Climate. John Wiley and Sons Ltd, Chichester.
21. Wintgens, T., Melin, T., Schaefer, A., Khan, S., Muston, M., Bixio, D. y Thoeue, C. (2005). The role of membrane processes in municipal wastewater reclamation and reuse. *Desalination*, 178, 1-11.

## Equipamiento para Depuración de Aguas Residuales



**Filtro Prensa Draco®**

- Altas concentraciones de sólido en la torta.
- Sistema de control automático.
- Bajo consumo de productos químicos.
- Asistencia técnica post-venta.
- Fácil mantenimiento.



**draco®**

Aplicaciones:  
 Industria química  
 Industria minera  
 Aguas residuales industriales  
 Aguas residuales urbanas  
 Aplicaciones especiales



**anaconda**

Salida agua limpia

**Flotación por Aire Disuelto con Tecnología F.A.D.A.R®**

Aplicaciones:  
 Mataderos  
 Industria alimentaria  
 Industria química  
 Industria de biocombustibles  
 Industria de pesca y conservas  
 Aguas residuales urbanas  
 Aguas potables

STAND 2763

**wetec**

October, 12-14, 2009  
Orlando-Florida-USA

STAND D22

**Polutec MAROC**

October, 22-24, 2009  
Casablanca-Maroc

© TORO EQUIPMENT INDUSTRIES

Tel +34 983 40 30 47  
[www.toroequipment.com](http://www.toroequipment.com)